

УДК 574.3:582.632.2(477.75)

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА МЕСТООБИТАНИЙ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Корсакова С.П., Корженевский В.В.

ФГБУН «Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН», пгт Никита,
г. Ялта, Российская Федерация,
e-mail: korsakova2002@mail.ru

Приводятся результаты исследования климатогенных изменений экологического режима местообитаний *Quercus pubescens* Willd. на высотном профиле в условиях Южного берега Крыма. В результате современного потепления климата ЮБК в начале XXI века факторы термо- и омброрежима для дуба пушистого на высотах 100-200 м над уровнем моря сместились в зону пессимума, что может послужить отправной точкой для сукцессионных изменений на этих высотах. Произошел сдвиг зоны оптимума климатических факторов на высоты 400 м над уровнем моря. При сохранении тенденции роста температур к концу XXI века на ЮБК ожидается смещение климатических оптимумов произрастания *Q. pubescens* на высоты до 600 м над уровнем моря. Данный подход может быть использован при анализе вероятных изменений экологических условий местообитаний для конкретных видов растений при прогнозируемых изменениях климата, разработке мероприятий по оптимизации ландшафтов.

Ключевые слова: местообитание, высотный профиль, *Quercus pubescens* Willd., изменение климата, экологические шкалы, Южный берег Крыма.

Введение

Изучение динамики ландшафтообразующих процессов, связанных с изменением климата, является одной из актуальных проблем современной экологии. В экологических условиях, приближенных к экотопическому пределу толерантности растительных организмов, даже небольшие изменения экологических факторов могут вызвать существенные трансформации фитосистем (Волков, Влкова, 2013).

Крымские леса находятся на границе ареала своего распространения в экстремальных условиях (Экология Крыма..., 2003), поэтому особую актуальность приобретают вопросы моделирования и прогнозирования пространственно-временных распределений экологических условий местообитаний аборигенных видов как необходимой составляющей пространственной оценки биоразнообразия региона.

Дуб пушистый (*Quercus pubescens* Willd.) является основной лесообразующей породой Южного берега Крыма (ЮБК), которая формирует ценные южнобережные ксерофитные лесные ассоциации, поднимающиеся местами до 750 м над уровнем моря. Леса занимают склоны различной экспозиции, крутизной до 45° с сухими, реже свежими коричневыми и коричнево-бурыми почвами мощностью 20-80 см, подстилаемыми известняками, глинистыми сланцами, песчаниками, кристаллическими породами (Кочкин, 1967). Произрастая в жестких аридных условиях, сообщества дуба пушистого выполняют важные для региона экологические и санитарно-гигиенические функции.

Цель работы – выявить климатогенные изменения условий местообитаний *Q. pubescens* и определить величины смещения экологических оптимумов, произошедшие в результате современного потепления климата ЮБК и ожидаемые в XXI веке.

Материалы и методы исследования

Регион исследований охватывает Западный южнобережный субтропический и Западный лесной среднегорный районы южного макросклона Главной гряды Крымских

гор (Климатический атлас Крыма, 2000). Первый район занимает узкую приморскую полосу до 200-300 м над уровнем моря и характеризуется засушливым субтропическим климатом средиземноморского типа с сухим жарким летом и умеренно-теплой влажной зимой. Второй район простирается от 300 до 1200 м над уровнем моря, климат изменяется от полувлажного в нижней до влажного в верхней части, от умеренно-жаркого до умеренно-прохладного, с очень мягкой и умеренно-мягкой зимой (Важов, 1977).

В работе были использованы данные изучения растительных сообществ на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор, проведенные в 1976-1977 гг. на высотном мониторинговом профиле: заповедник «Мыс Мартьян» – Никитский хребет – Никитская яйла (Голубев, 1985). Через каждые 25 м были заложены учетные площадки, установлены формы рельефа, состав горных пород, выполнены полные геоботанические описания растительности, в которых зафиксирован состав сообществ и участие видов в сложении растительного покрова (Плугатарь, Корженевский, 2017). Нами выбраны три учетные площадки, расположенные в среднегорном районе на высотах 400, 600 и 800 м, а также в южнобережном субтропическом – на высотах 100 и 200 м над уровнем моря (рис. 1).

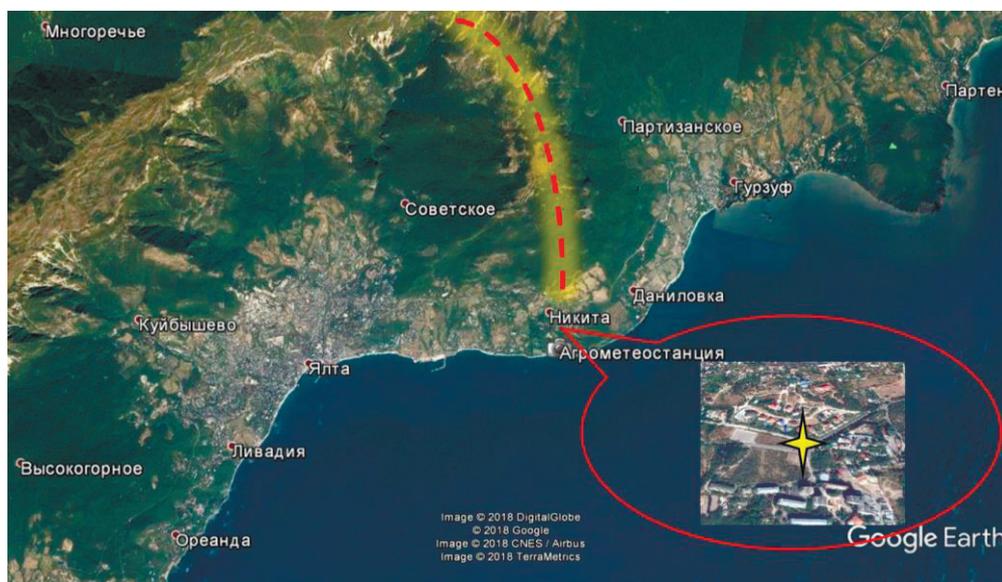


Рис. 1. Схема мониторингового профиля на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор

Для определения экологической толерантности *Q. pubescens* использованы 100-балльные шкалы экологических факторов базы данных «Экодата», созданной в лаборатории флоры и растительности Никитского ботанического сада (Корженевский, 1990, 1999). Данная база содержит унифицированную информацию о размещении видов вдоль градиентов факторов-условий и факторов-ресурсов (Корженевский, Плугатарь, 2016). В основе шкал лежат идеи Л.Г. Раменского и Д.Н. Цыганова (Раменский и др., 1956; Цыганов, 1983).

Степень расхождения между экологическим оптимумом данного вида и экологическими условиями, реально существующими в конкретном анализируемом местообитании оценивали с помощью коэффициента удовлетворенности условий среды (D), который вычисляли для каждого фактора по формуле:

$$D_i = |L_i - O_i|, \quad (1)$$

где D_i – разница значений экологического фактора L_i в анализируемых местообитаниях с оптимальным значением данного фактора;

O – оптимальное значение данного фактора (Злобин и др., 2013).

Моделирование текущего состояния климатогенной динамики экологических условий местообитаний и ожидаемых в XXI веке по среднему климатическому сценарию изменений климата RCP4.5 (Корсакова, 2018a; <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>) осуществлено путем статистических расчетов зависимостей экотопических факторов от пространственно-распределенных характеристик территории (высоты над уровнем моря, экспозиции и крутизны склона). В расчетах использованы результаты приведения температур и осадков к данным агрометеорологической станции Никитский сад (Плугатарь и др., 2015).

Для экологической оценки местообитаний использовали данные о терморегиме (средняя месячная температура июля и сумма активных температур воздуха выше 10 °С), омброрегиме (аридность-гумидность климата), криорегиме (температура самого холодного месяца), континентальности и увлажнения (индекс сухости М.И. Будыко (Григорьев, Будыко, 1959)).

Показатель омброрегима определяли как разность между годовым количеством осадков и испаряемостью, рассчитанной по формуле Н.Н. Иванова-Г.Н. Высоцкого (Иванов, 1954).

Расчет годового радиационного баланса осуществлен по фактическим данным актинометрических наблюдений агрометеорологической станции Никитский сад, а также расчетным путем по формуле Э.Г. Коломыц (Коломыц, 2003), которая позволяет определить величину B для ЮБК с достаточной точностью (до 10 % по нашим данным):

$$B = 378,8 \cdot t - 6,667 \cdot t^2 - 3180 \quad (2)$$

где: t – температура июля, °С.

Оценку континентальности климата проводили с помощью комплексного коэффициента Н.Н. Иванова (Иванов, 1959), рассчитанного по формуле:

$$k = \frac{(A_{\Gamma} + A_{\Sigma} + 0,25 \cdot D_0)}{(0,36 \cdot \varphi + 14)} \cdot 100, \quad (3)$$

где: A_{Γ} – годовая амплитуда температуры воздуха, °С; A_{Σ} – суточная амплитуда температуры воздуха, °С; D_0 – дефицит влажности воздуха, гПа; φ – широта; $0,36\varphi$ – характеризует линейную зависимость всех трех компонентов от широты; 14 – сумма всех компонентов на экваторе.

Оценку трансформации температур воздуха за счет перераспределения рельефом инсоляции проводили с учетом особенностей радиационного режима склонов различной крутизны и экспозиции на территории Южного берега Крыма. Поправочные коэффициенты для склонов южной, юго-восточной, юго-западной, восточной, западной, северо-восточной, северо-западной и северной экспозиций крутизной 10, 20 и 30° были рассчитаны Д.И. Фурса (Фурса, 1986) по фактическим данным прямой солнечной радиации, приходящей на горизонтальную поверхность при средних условиях облачности.

Обработку полученных данных проводили с помощью программы MS Excel 2010, включающей стандартные методы математической статистики для анализа рядов наблюдений.

Результаты и их обсуждение

Экологическая толерантность *Q. pubescens* с указанием минимальных, оптимальных и максимальных значений градаций градиентов факторов в конкретных цифровых значениях приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Экологическая толерантность *Q. pubescens* на Южном берегу Крыма и экологические факторы, лимитирующие его развитие

Факторы условия и факторы ресурсы	Минимум	Оптимум	Максимум
Освещение, %	15,4	33,6	60,0
Средняя температура июля, °С	19,6	22,1	24,5
Сумма активных температур воздуха выше 10 °С	2983	3605	4227
Аридность-гумидность, мм	-111	422	911
Средняя температура февраля °С,	-1,1	6,3	13,1
Континентальность, %	136	151	169
Индекс сухости	2,6	1,8	1,2

На основе гипотезы об экологической индивидуальности видов и приуроченности к определенным местообитаниям (Раменский, 1971; Миркин, Наумова, 2012) можно считать, что генетически детерминированные и филогенетически приобретенные границы толерантности будут попадать при изменениях экологических условий, как в зону оптимума, так и в зону пессимума. Данный подход позволяет проанализировать происходящую климатогенную динамику смещения точки оптимального значения вдоль вектора в одну или другую сторону на градиентах факторов-условий и факторов-ресурсов, получить информацию о тенденции использования ресурса, оценке степени напряженности природно-климатических процессов.

Результаты положения *Q. pubescens* в экологическом пространстве местообитаний: средняя месячная температура июля (1), сумма активных температур воздуха выше 10°С (2), аридность-гумидность (3), средняя месячная температура февраля (4), континентальность (5) и индекс сухости (6), в текущих и ожидаемых условиях изменений климата представлены в виде лепестковых диаграмм – экограмм (рис. 2).

Анализ экологической амплитуды исследуемого вида по ряду факторов позволил установить, что с начала XXI столетия (2001–2017 гг.) в результате роста температур критическими для *Q. pubescens* на ЮБК являются термо- и омброрежим на высотах 100–200 м над уровнем моря. Оптимальные условия складываются на высотах около 400 м (рис. 2).

В ходе исследования была также проанализирована динамика изменений относительной благоприятности условий среды, в которых произрастает вид и ожидаемых при изменении климата по сценарию RCP4.5. Были выполнены расчеты коэффициентов удовлетворенности условий среды на высотах от 100 до 800 м над уровнем моря за периоды: 1981–2000, 2001–2017, 2041–2060 и 2081–2099 гг. Коэффициент удовлетворенности среды (D) – разница значений экологического фактора в анализируемом местообитании с оптимальным значением данного фактора для конкретного вида.

Коэффициент D по своему содержанию оценивает степень благоприятствования условий произрастания для того или иного вида и является мерой экологического дискомфорта популяции: чем выше значение этого коэффициента, тем в среднем условия местообитания менее соответствуют экологии изучаемого вида растения [13]. Значения рассчитанного коэффициента удовлетворенности условиями среды *Q. pubescens* для наглядности представлены в графическом виде (рис. 3).

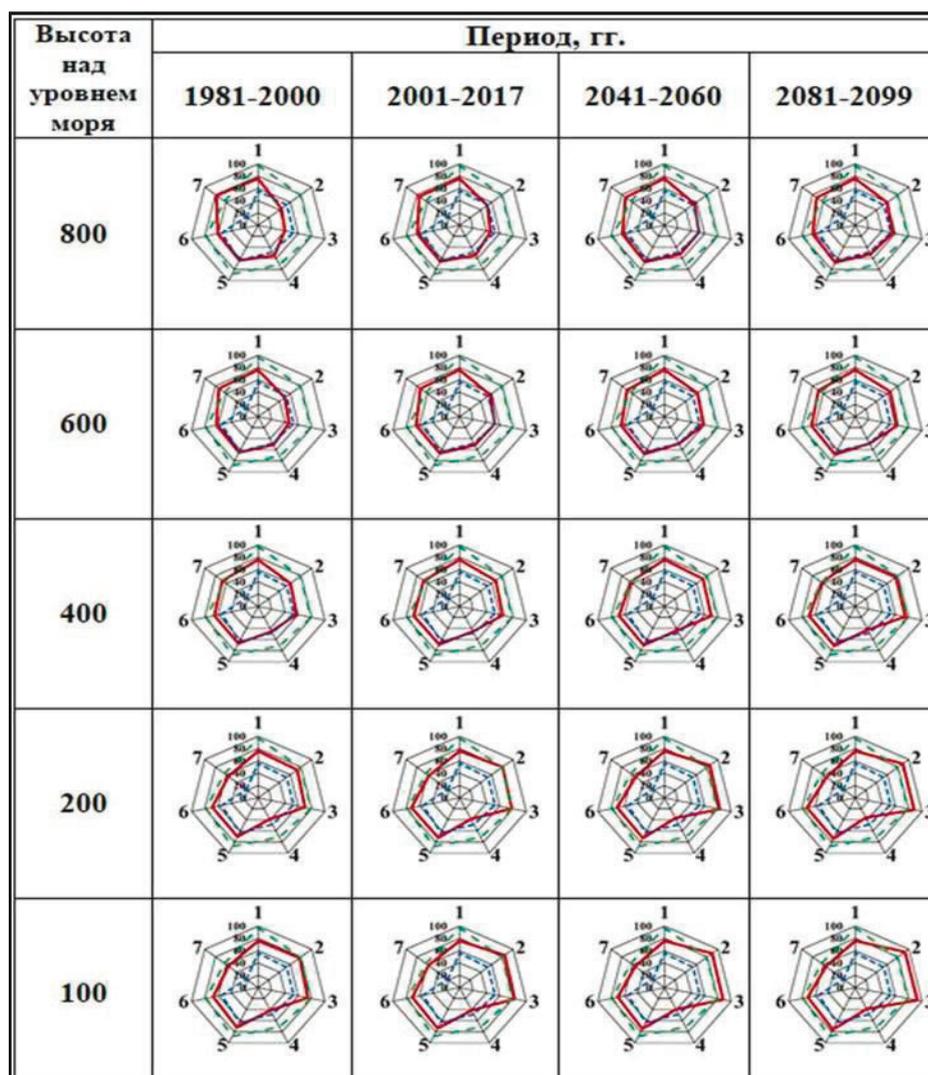


Рис. 2. Графическая модель экологического диапазона *Q. pubescens* по амплитудной экологической шкале факторов-условий и факторов-ресурсов на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор в условиях изменения климата по сценарию RCP4.5 (градиенты факторов среды: синий – минимальное, зеленый – максимальное, красный – оптимальное значение)

Проведенные исследования позволяют судить о том, что основными лимитирующими факторами для *Q. pubescens* на ЮБК в условиях изменения климата являются характеристики термо- и гидрорежима, особенно это касается высот 100-200 м над уровнем моря.

За исследуемый период с 1981 по 2099 гг. (рис. 3) на ЮБК ожидается смещение климатических факторов из зоны оптимума, характерных для развития *Q. pubescens*, с 200 до 600 м над уровнем моря. Тенденции трансформации экофакторов местообитаний указывают на наиболее вероятные направления эколого-фитоценотической экспансии вида, на пути адаптогенеза. Однако, сложность прогнозирования возможных темпов трансформации растительности и сукцессионных перестроек фитоценозов заключается в том, что изменение каждого экологического фактора преломляет и трансформирует действие других факторов, специфичных для каждого местообитания, поэтому реакция растительности на изменения климата может быть прогнозируема лишь в самых общих чертах (Волков, 2002).

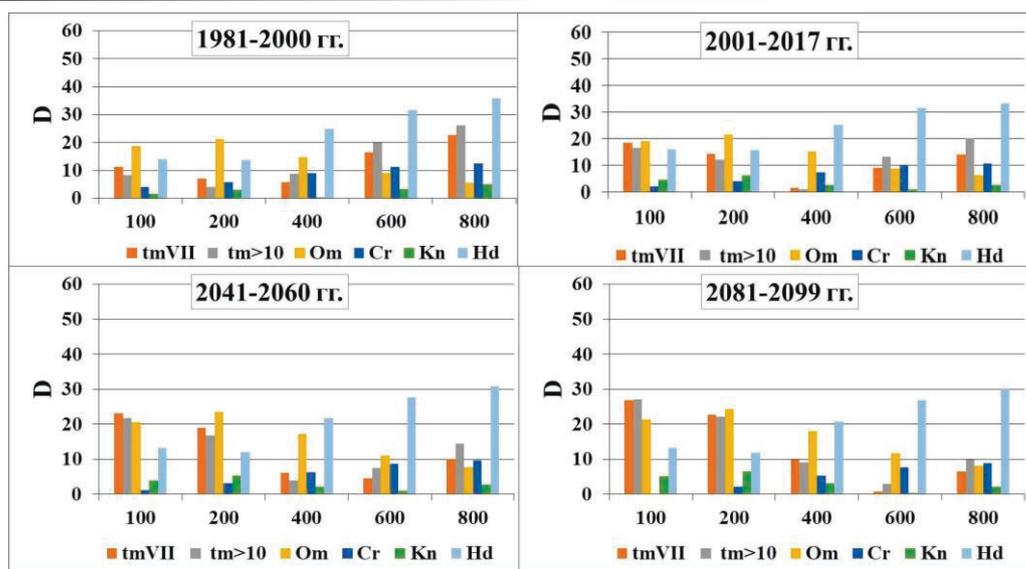


Рис. 3. Анализ степени расхождения между экологическим оптимумом *Q. pubescens* и экологическими условиями местообитаний на южном макросклоне Главной гряды Крымских гор в условиях изменения климата по сценарию RCP4.5 (tmVII – термофактор; tm>10 – термофактор; Om – омброфактор; Cr – криофактор; Kn – континентальность; Hd – увлажнение)

Выводы

Анализ экологических амплитуд исследуемого вида по ряду факторов позволил установить, что в результате роста температур, с начала XXI столетия границы толерантности *Q. pubescens* по факторам термо- и омброрежима на высотах 100-200 м над уровнем моря находятся в зоне пессимума. Оптимальные условия складываются на высотах около 400 м. Это может послужить отправной точкой для сукцессионных изменений на высотах около 100-200 м над уровнем моря, что требует более детальных мониторинговых исследований динамики растительного покрова в связи с изменениями климата.

Анализ смещения оптимума фундаментальных ниш на факторах условий (температура июля, сумма активных температур выше 10°C) показал, что при сохранении тенденции роста температур к концу XXI века на ЮБК ожидается смещение климатических оптимумов произрастания *Q. pubescens* с 200 до 600 м над уровнем моря.

Таким образом, моделирование потенциальных ареалов отдельных видов на региональном уровне в пределах исследуемой территории может представлять практический интерес. Основой для этого могут служить полученные пространственные прогнозы экологических условий местообитаний растений. Учитывая, что кроме использованных в работе шести факторов среды не исключается воздействие других (в частности, эдафических), при анализе пригодности локального участка для произрастания некоторого вида более целесообразно определять участки территории, где вид произрастать не может. Это участки, где величина одного из рассмотренных экотопических факторов не пересекается с интервалом толерантности вида по данному фактору. Подобным образом могут быть получены карты экотопических ограничений для каждого вида.

Данный подход может быть использован при анализе вероятных изменений экологических условий местообитаний для конкретных видов растений при прогнозируемых изменениях климата, разработке мероприятий по оптимизации ландшафтов.

Список литературы

1. *Важов В.И.* Агроклиматическое районирование Крыма // Труды Государственного Никитского ботанического сада. – 1977. – Т. 71. – С. 92–120.
2. *Волков И.В., Волкова И.И.* Временная трансформация некоторых высокогорных фитоценозов долины Актру (Республика Алтай) в результате изменения климата // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 4 (24). – С. 152–161.
3. *Волков И.В.* Введение в экологию высокогорных растений. – Томск: Из-во ТГПУ, 2002. – 171 с.
4. *Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова (ГГО).* Раздел «Изменения климата в России в 21 веке (модели СМIP 5)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voeikovmgo.ru/ru/izmenenie-klimata-v-rossii-v-xxi-veke?id=613>. (дата обращения 10.07.2018).
5. *Голубев В.Н., Корженевский В.В.* Методические рекомендации по геоботаническому изучению и классификации растительности Крыма. – Ялта, ГНБС, 1985. – 37 с.
6. *Григорьев А.А., Будыко М.И.* Классификация климатов СССР // Известия АН СССР. – 1959. – № 3. – С. 13–19.
7. *Злобин Ю.А., Скляр В.Г., Клименко А.А.* Популяции редких видов растений: теоретические основы и методика изучения: монография. – Сумы: Университетская книга, 2013. – 439 с.
8. *Иванов Н.Н.* Об определении величин испаряемости // Известия Всесоюзного географического общества. – 1954. – Т. 86. – № 2. – С. 189–196.
9. *Иванов Н.Н.* Пояса континентальности земного шара // Известия Всесоюзного Географического общества. – 1959. – Т. 91, Вып. 5. – С. 410–423.
10. *Климатический атлас Крыма.* Приложение к научно-практическому дискуссионно-аналитическому сборнику «Вопросы развития Крыма» / под ред. И.В. Ведь. – Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. – 120 с.
11. *Коломыц Э.Г.* Региональная модель глобальных изменений природной среды. – М.: Наука, 2003. – 371 с.
12. *Корженевский В.В.* Новый способ графического выражения зависимости видового богатства и комплексных градиентов среды // Экология. – 1999. – № 3. – С. 216–219.
13. *Корженевский В.В.* Об одном простом способе интерпретации экологических шкал // Экология. – 1990. – № 6. – С. 60–63.
14. *Корженевский В.В., Плугатарь Ю.В.* Крымские леса *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Lamb.) Holmb. на градиентах факторов среды // Природа, нация, туризм и ООПТ. Материалы международной юбилейной научной конференции, посвященной 20-летию Ричинского реликтового национального парка (15-19 октября 2016 г., Гудаута) – Гудаута: Ричинский реликтовый национальный парк, 2016. – С. 113–119.
15. *Корсакова С.П.* Оценка будущих изменений климата на Южном берегу Крыма // Экосистемы. – 2018а. – Вып. 15 (45). – С. 151–165.
16. *Кочкин М.А.* Почвы, леса и климат горного Крыма и пути их рационального использования // Труды Государственного Никитского ботанического сада. – 1967. – Т. 38. – 368 с.
17. *Миркин Б.М., Наумова Л.Г.* Современное состояние основных концепций науки о растительности. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. – 488 с.
18. *Плугатарь Ю.В., Корженевский В.В.* Организация долгосрочного мониторинга на Главной гряде Крымских гор. I. Растительный покров // Научные записки природного заповедника «Мыс Мартьян». – 2017. – Вып. 8. – С. 26–60.
19. *Плугатарь Ю.В., Корсакова С.П., Ильницкий О.А.* Экологический мониторинг Южного берега Крыма. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2015. – 164 с.

20. Раменский Л.Г. Проблемы и методы изучения растительного покрова. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1971. – 333 с.
21. Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
22. Фурса Д.И. Погода, орошение и продуктивность винограда. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 200 с.
23. Цыганов Д.Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. – М.: Наука, 1983. – 196 с.
24. Экология Крыма. Справочное пособие / Под ред. Н.В. Багрова и В.А. Бокова. – Симферополь: Крымское учебно-педагогическое государственное издательство, 2003. – 360 с.

ASSESSMENT ECOLOGICAL REGIME OF THE PLANTS HABITAT UNDER CLIMATE CHANGE

Korsakova S.P., Korzhenevsky V.V.

*Of the Order of the Red Banner Nikitsky Botanical Gardens – National Scientific Center of the
Russian Academy of Sciences, Nikita, Yalta, Russian Federation*

e-mail: korsakova2002@mail.ru

The results study of climatogenic changes in the ecological regime of habitats *Quercus pubescens* wild on a high-rise profile in the conditions of the Southern coast of the Crimea are presented. As a result of the modern climate warming in the early 21st century, the thermo- and ombroregime factors for fluffy oak at altitudes of 100-200 m above sea level have shifted to the pessimum zone, which can serve as a starting point for succession changes at these altitudes. There was a shift of the zone optimum climatic factors to altitude 400 m above sea level. While maintaining the trend of increase temperature by the end of the XXI century in the Southern coast of the Crimea is expected to shift the climatic optima growth *Q. pubescens* to altitudes up to 600 m above sea level. This approach can be used in the analysis of probable changes in environmental conditions of habitats for plant species in the projected climate change and development of measures to optimize the landscape.

Keywords: habitat; altitude profile, *Quercus pubescens* Willd., Climate change, ecological scales, Southern coast of the Crimea.

Поступила в редакцию 28.11.2018 г